

CARACTERIZACIÓN DE LA PIEDRA TOSCA (CASABLANCA, MARRUECOS)

R. H. Prado Govea¹, M. Louis Cereceda², A. García del Cura, D. Benavente Y. Spairani Berrio, J. A. Huesca Tortosa.

* Universidad de Alicante, ESPAÑA

^{1/2} Autor de Contacto: Profesor del Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad de Alicante
Campus Universidad de Alicante, CP 0380 Sant Vicent del Raspeig, Alicante, ESPAÑA

RESUMEN

La piedra llamada Tosca en Alicante, aflora con características similares como playa fósil en numerosos puntos del litoral mediterráneo, denominándose en Baleares piedra de Marés, en Italia Tufo calcáreo y en Francia Mollase calcaire. Está formada por depósitos cuaternarios de arenas consolidadas del pleistoceno superior eutirreniense.

Las rocas se formaron a partir de depósitos eólicos de arenas calcáreas, con restos de moluscos fósiles, como conchas y lamelibranquios, dando una serie de dunas litorales de espesor variable, posteriormente consolidadas con matriz calcárea.

La utilización de piedra tosca en la arquitectura alicantina, especialmente en la Marina alta, es una tradición, remontándose a la época romana, en la que ya se explotaban las canteras de Xàbia y Benissa hasta que se cerró su explotación por motivos ambientales.

Entonces se trajo de les Illes Balears, hasta que también allí se ha prohibido la extracción de piedra. Por ello se ha comenzado a exportar de Casablanca (Marruecos) y en el presente trabajo se hace un análisis de los dos materiales que se exportan, comparándolos con los utilizados en la arquitectura de la Marina.

Se han realizado los ensayos físicos que determinan las normas UNE (densidad, resistencia a flexión, compresión, desgaste e impacto, capilaridad, heladicidad...) y se han determinado las características de durabilidad, especialmente la resistencia a la cristalización por sales.

También se ha empleado el aparato de ultrasonidos para comparar los resultados de densidad y resistencia mecánica.

Para la caracterización petrográfica se ha empleado el microscopio petrográfico, el electrónico de barrido, el porosímetro de mercurio y la difracción de rayos X.

De los análisis realizados se deduce que la Tosca de Benissa da resultados muy similares a la de Xàbia. En cuanto a las piedras de Marruecos, la Tosca bahía es de mejor calidad aunque la Bahía roja es algo más resistente al impacto.

Palabras clave: Construcción, materiales, piedra natural

INTRODUCCIÓN

La piedra llamada Tosca en la provincia de Alicante, aflora con algunas características similares como playa fósil en numerosos puntos del litoral mediterráneo, denominándose en Baleares piedra de Marés, en Italia Tufo calcáreo y en Francia Mollase calcaire. Está formada por depósitos cuaternarios de arenas consolidadas del pleistoceno superior eutirreniense

Las rocas se formaron a partir de depósitos eólicos de arenas calcáreas, con restos de moluscos fósiles, como conchas y lamelibranquios, dando una serie de dunas litorales de espesor variable, posteriormente consolidadas con matriz calcárea.

La utilización de piedra tosca en la arquitectura alicantina, especialmente en la Marina alta, es una tradición, remontándose a la época romana. Las canteras de Xàbia y Benissa abastecieron de material durante muchos años hasta que se cerró su explotación por motivos ambientales.

Entonces se trajo la tosca de les Illes Balears, hasta que también se ha prohibido la extracción de piedra en sus canteras. Es por ello que se ha comenzado a exportar piedra tosca de Casablanca (Marruecos) y el presente trabajo va dirigido a hacer un análisis de los materiales que se exportan.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se realizan una serie de ensayos y observaciones con la intención de comparar los resultados obtenidos y así tener datos de cada material, pudiendo comparar sus características petrofísicas.

En la Universidad de Alicante se han realizado estudios similares (1 y 2) utilizando material del Laboratorio de Petrología Aplicada de la Facultad de Ciencias y del Laboratorio de Materiales de la Escuela Politécnica Superior para el análisis de las muestras mediante los sistemas de observación que se relacionan en el apartado siguiente de resultados.

RESULTADOS.

Ensayos físicos.

Las muestras ensayadas son de dos variedades: Tosca Bahía y Bahía roja y se han suministrado por parte de la empresa, cortadas a los tamaños indicados en normas UNE. Primeramente se han desecado a peso constante en estufa y se han medido. Luego se han sumergido en agua 24 horas volviéndolas a pesar. Con ello se han obtenido los siguientes resultados:

	Bahía roja	Tosca Bahía
Humedad remanente %	7,19	0,5
Densidad aparente Dap gr/cc	1,70	1,794
Absorción al agua AA %	15,79	11,96
Porosidad abierta Pa %	26,76	21,50

Datos de la Tosca de Xàbia: Dap= 1,82 g/cc AA = 17,1% Rc = 6,25 Mpa (3).

Posteriormente se han realizado los ensayos de las normas UNE con los siguientes resultados:

Características físicas	Bahía Roja	Tosca Bahía
Densidad aparente (UNE-EN 1936) (Kg/m ³):	1,61 ± 0,01	1,78 ± 0,04
Resistencia a flexión bajo carga concentrada (UNE-EN 12372) (MPa):	1,0 ± 0,3	2,4 ± 0,4
Energía de rotura (UNE-EN 14158) (J):	2,0 ± 0,4	1,9 ± 0,2
Resistencia a compresión (UNE-EN 1926) (MPa):	4,83 ± 0,87	9,99 ± 2,33
Resistencia al desgaste (UNE-EN 1341) (mm):	32,80 ± 0,80	-
Coeficiente de absorción de agua por capilaridad (UNE-	1944	1372 ± 357

EN 1925) C (g/m ² s ^{0,5}):		
Porosidad conectada, P [%]	21,43	21,65
Superficie específica, SSA [m ² /g]	0,61	0,10
Volumen de poros (rango 0.0025-200 µm), V _P [ml/g]	0,10	0,27

(1 MPa = 10.2 Kg/cm²)

Características de durabilidad	Bahía Roja	Tosca Bahía
Resistencia a la heladicidad. Ensayo tecnológico (UNE-EN 13271)		
Resistencia a flexión bajo carga concentrada (UNE-EN 12372) después de los ciclos de hielo-deshielo (MPa =10.2 Kg/cm ²) :	0,7 ± 0,3	1,8 ± 0,5
Pérdida de masa (%):	1,7 ± 0,7	0,8 ± 0,3
Variación de la resistencia a flexión bajo carga concentrada después de los ciclos de hielo-deshielo (%):	30	25
Valoración visual de las probetas ensayadas	Probeta intacta-Daños mínimos (redondeo mínimo de esquinas y bordes) que no comprometen su integridad. Valoración: 0-1	
Resistencia a la cristalización de sales (UNE-EN 12370)		
Pérdida de masa (%):	0,7 ± 0,1	0,4 ± 0,1
Valoración visual de las probetas ensayadas	Probeta intacta-Daños mínimos (redondeo mínimo de esquinas y bordes) que no comprometen su integridad. Valoración: 0-1	

Comentarios: La piedra Tosca Bahía, de color blanco, es de mejor calidad (más densa, menos absorbente y mayor resistencia mecánica, tanto a compresión como a flexión).

En el ensayo de heladicidad la pérdida de masa es baja en ambas piedras, aunque el doble en la variedad roja, similar a lo que ocurre con la cristalización de sales. En la apariencia visual hay una ligera pérdida de granos en las esquinas. La resistencia a flexión después de la heladicidad se reduce un 30%.

Respecto a la resistencia al impacto es la Bahía roja la que obtiene mejores resultados, aunque muy ligeramente, rompiendo dos probetas a 25cm mientras que la Tosca Bahía lo hace siempre a 20. Son resultados muy normales en este tipo de materiales.

Las piedras de la Marina estarían en una situación intermedia (densidad similar a la blanca y absorción a la roja) (3).

Microscopio petrográfico.

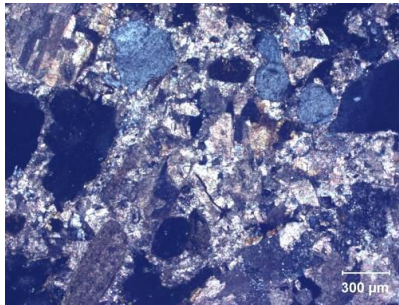
En el Microscopio petrográfico se puede observar una lámina delgada del material. Sirve para la identificación de la mineralogía y el sistema poroso de los materiales.

La piedra denominada **Tosca Bahía** es una Samita calcárea polimítica con esqueleto denso aunque grado de empaquetamiento variable. Contiene abundantes bioclastos (principalmente fragmentos de moluscos, también briozoos) muchos de ellos redondeados y algunos con envueltas ferruginosas. También presenta algún foraminífero.

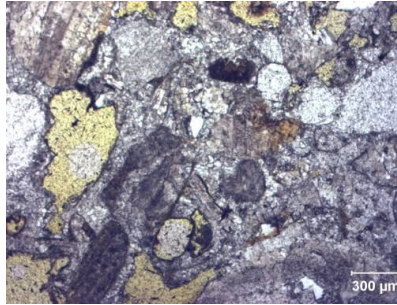
Contiene también fragmentos de rocas con predominio de lutitas y areniscas ferruginosas dolomías y granos de cuarzo mono y policristalino así como feldespatos.

Cemento esparítico blocky y algo de matriz aleurítica (cuarzo y filosilicatos). Presenta algunas bioturbaciones rellenas de lutitas. Abundante porosidad inter e intrapartícula.

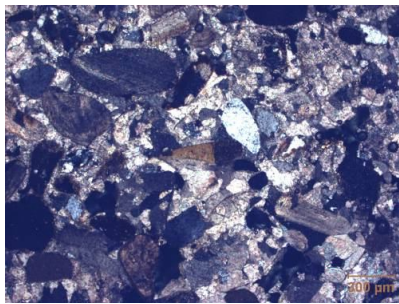
La variedad **Bahía roja** tiene mayor tamaño de grano, llegando incluso a microconglomerado (clastos > 2mm), menos cantidad de matriz y mayor porcentaje de fragmentos de rocas lutíticas y areniscas ferruginosas así como mayor porcentaje relativo de porosidad interpartícula. Como mineral accesorio se ha encontrado fosfato en forma de restos fósiles.



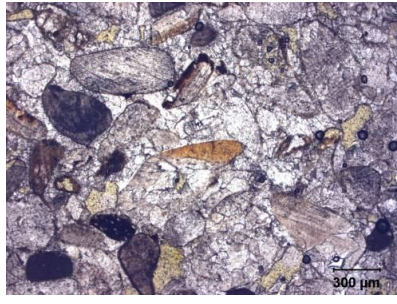
Tosca Bahía: Nícoles cruzados



Nícoles paralelos



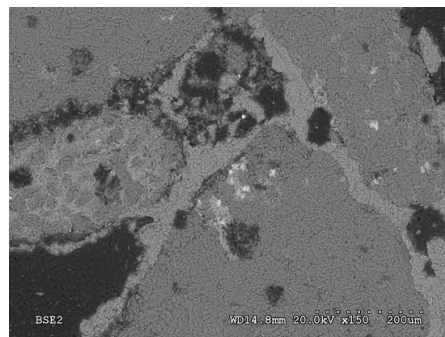
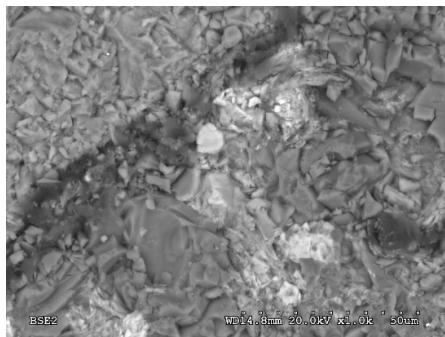
Bahía roja: Nícoles cruzados



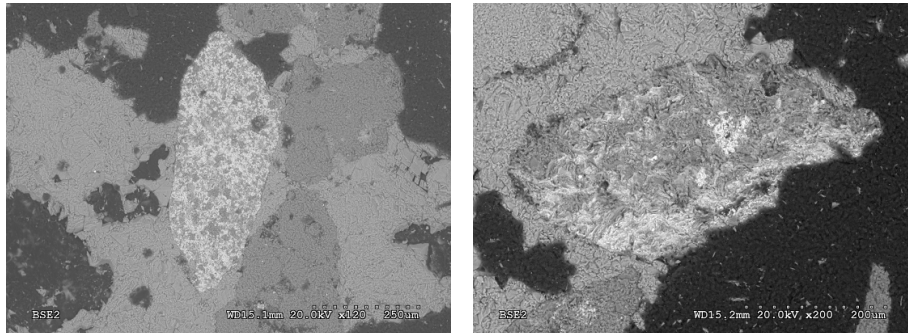
Nícoles paralelos

Microscopio electrónico de barrido.

La piedra analizada está constituida básicamente por calcita como mineral principal. Las fotos del MEB están hechas en modo de electrones retrodispersados (bse) y puede verse la presencia de granos con óxidos de hierro en diversas proporciones, además de la importante porosidad interpartícula (entre los granos).



Tosca blanca: Fotos 1 y 2, son el mismo motivo con diferentes aumentos.



Bahía roja: Fotos 3 y 4, vista de los granos o clastos con óxidos de hierro.

Ultrasonidos.

Se ha empleado el aparato de ultrasonidos “Ultrasonic tester E-46” siguiendo la metodología descrita por Facaoaru & Lugnani en 1993 (4).

El procedimiento consiste en medir el tiempo que tarda en transmitirse la onda entre dos puntos colocando los transductores a una distancia determinada, obteniendo por tanto valores de la velocidad en m/seg.

Para su interpretación se ha tenido en cuenta que los valores altos de dicha velocidad determinan una mayor densidad y compacidad del material, mientras que los bajos definen mayor grado de porosidad o discontinuidades.

Se deben comparar los valores obtenidos con otros tipificados según tipo de pétreo como pueden ser los 2000 a 3000 m/seg. en areniscas y calizas, o los 5000 m/seg. en mármoles.

Los resultados obtenidos han sido los siguientes:

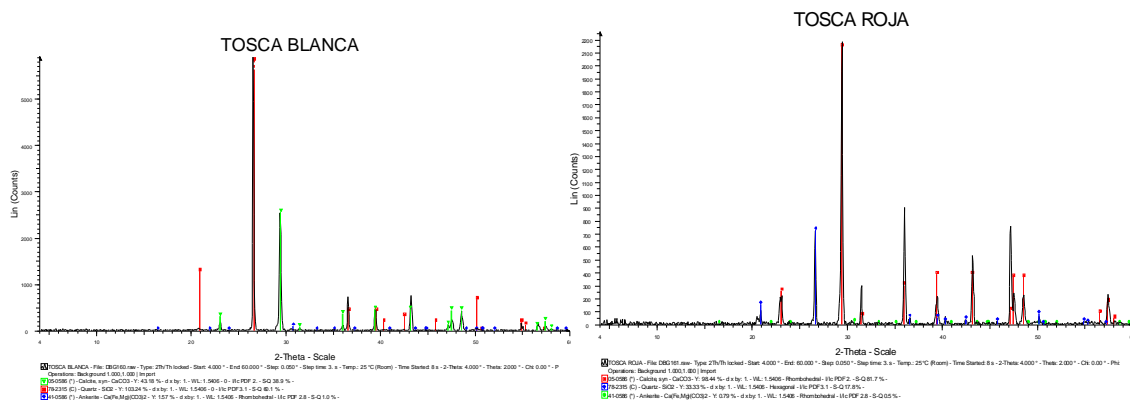
Tosca Bahía	Medida en su Longitud	2.593,27 m/seg.
	Medida en anchura	2.422,15 m/seg.
Bahía roja	Medida en su Longitud	2.352,94 m/seg.
	Medida en anchura	2.268,91 m/seg.

Están pues dentro de los valores normales para areniscas. La Tosca Bahía es más densa, con valores de un 10% por encima de la roja, coincidiendo con los ensayos físicos. La variación entre la medida en longitud (28,5 y 22cm) y en anchura (7 y 8,1cm) es muy poca, lógico ya que se trata de probetas regulares y sin defectos, pero siempre es mayor la primera por el corte paralelo a lecho de cantera, con mayor compacidad de sus clastos.

Estas velocidades están directamente relacionadas con la resistencia mecánica a compresión en una proporción aproximada de 1/4,5 aunque, según Solís-Carcano y Moreno, 2008(5) corresponden a hormigones/morteros con una resistencia a compresión en torno a 10 M.Pa (o 100Kg/cm²) (entre 10-20 M.Pa). En todo caso, los resultados reales de resistencia a compresión ya citados (4,83 y 9,99 M.Pa) son suficientes para el uso en fábricas de piedra y en elementos ornamentales.

Difracción de rayos x.

Nos permite conocer la composición de los materiales. Los resultados nos permiten deducir que se trata de pétreos bastante diferentes ya que la **Bahía roja** está fundamentalmente formada por calcita (82%) con alto contenido en cuarzos (18%), y la **Tosca Bahía** es mayoritariamente cuarzo (60%) y otros minerales secundarios como la Ankerita en muy bajo contenido (1%).



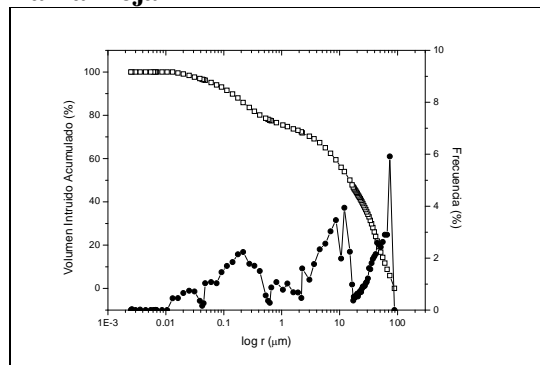
Ca (38.9%); Q(60.1%); Ankerita (1%)

Ca (81.7%); Q(17.8%); Ankerita (<1%)

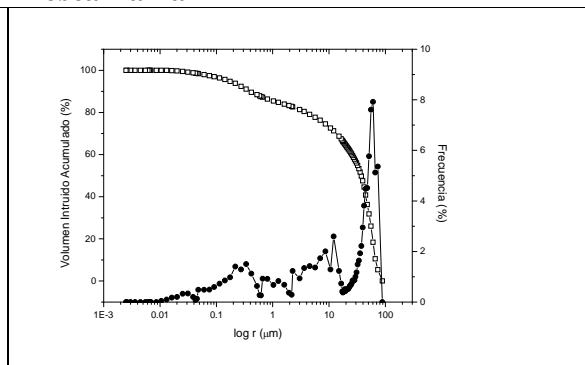
Porosimetría de mercurio.

Para conocer el comportamiento de un pétreo es importante conocer, tanto su porosidad total como el rango de sus poros.

Bahía Roja



Tosca Bahía



Los parámetros obtenidos con porosimetría de mercurio son: porosidad conectada, P; PSD; superficie específica, SSA; y volumen de poros (o volumen total intruido), V_P , en el rango 0.0025-200 μm . En este caso la porosidad es muy alta, especialmente en la **Bahía roja** y los poros de gran diámetro (>60% superior a la micra y >40% a las 10 micras) lo que evita la formación de capilares de forma, que si bien el agua penetra fácilmente en los poros, también sale sin dificultad, secándose el material rápidamente.

Cristalización por sales.

En este ensayo las probetas se pesan y se sumergen durante 48 horas en agua con una determinada cantidad de sales en disolución y luego se extraen y se ponen a secar en la estufa, volviendo a pesarlas y comprobando la pérdida de peso.

El aspecto visual de las muestras ensayadas después de los ciclos de cristalización de las sales es de una pérdida de color adoptando un aspecto blanquecino pero la pérdida de masa es poca, aunque es casi el doble en la **Bahía roja**.

Los resultados han sido:

Bahía Roja:

Cristalización de sales:

No.	b(c5/6)(mm)	h(c1/3)(mm)	P.Inicial(g)	P.Final(g)	% perd.peso
TR-I	41.15	40.39	113.11	112.27	-0.75
TR-II	39.22	39.98	101.61	100.94	-0.66
TR-III	41.19	40.41	109.05	108.23	-0.76
TR-IV	41.09	41.05	107.63	106.82	-0.76
TR-V	41.26	41.30	112.60	111.61	-0.89
TR-VI	38.42	40.76	102.96	102.26	-0.68
					-0.75
					± 0.08

Tosca Bahía:

Cristalización de sales:

No.	b(c5/6)(mm)	h(c1/3)(mm)	P.Inicial(g)	P.Final(g)	% perd.peso
TB-I	41.35	41.07	122.06	121.48	-0.48
TB-II	41.55	41.43	121.01	120.25	-0.63
TB-III	41.54	41.17	123.84	123.31	-0.43
TB-IV	41.65	41.44	127.11	126.68	-0.34
TB-V	41.28	41.56	126.50	125.95	-0.43
TB-VI	41.89	42.18	129.75	129.36	-0.30
					-0.43
					± 0.12

CONCLUSIONES.

De los análisis realizados se pueden obtener las siguientes conclusiones:

En los ensayos físicos la **Tosca Bahía** es de mejor calidad (más densa, menos absorbente, menos heladiza y mayor resistencia mecánica, tanto a compresión como a flexión). Solo la **Bahía roja** es algo más resistente al impacto.

La observación al microscopio permite conocer que la piedra denominada **Tosca Bahía** es una Samita calcárea polimíctica con esqueleto denso aunque grado de empaquetamiento variable. Contiene abundantes bioclastos

La variedad **Bahía roja** tiene mayor tamaño de grano, llegando incluso a microconglomerado (clastos > 2mm), menos cantidad de matriz y mayor porcentaje de fragmentos de rocas lutíticas y areniscas ferruginosas así como mayor porcentaje relativo de porosidad interpartícula. Vista en el M.E.B. se observa una gran cantidad de hierro en su composición.

Los ultrasonidos nos permiten comprobar que su resistencia mecánica está en los valores intermedios de las areniscas, siendo la **Bahía roja** un 10% menos resistente que la **Tosca Bahía**.

La DRX nos permite comprobar que se trata de pétreos bastante diferentes ya que la **Bahía roja** está fundamentalmente formada por calcita (82%) con alto contenido en cuarzos (18%), y la **Tosca Bahía** es mayoritariamente cuarzo (60%) con tan solo un 3% de calcita.

La porosimetría de mercurio nos indica que la porosidad es muy alta, especialmente en la **Bahía roja** y los poros de gran diámetro (>60% superior a la micra y >40% a las 10 micras) lo que evita la formación de capilares de forma, que si bien el agua penetra fácilmente en los poros, también sale sin dificultad, secándose el material rápidamente.

La pérdida de masa por cristalización de sales es reducida en ambas muestras aunque la **Bahía roja** tiene casi el doble que la **Tosca Bahía**.

Ambos materiales son aceptablemente buenos para uso en construcción aunque la calidad de la **Tosca Bahía** es bastante superior a la de la **Bahía roja**.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a la empresa artosca que ha subvencionado esta investigación mediante un convenio realizado con la Universidad de Alicante.

REFERENCIAS

- (1) S. ORDOÑEZ & M. LOUIS, GARCÍA DEL CURA, M.A., R. FORT, M.C. LÓPEZ DE AZCONA y F. MINGARRO. "Physical properties and petrographic characteristics of some variétés de 'Pierre Bateig' Seventh International Congress International Association of Engineering Geology. Lisboa 5-9 Sept. 1994. Ed: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC, Lisboa, Balkema, Rotterdam, Brookfield 1994. pp. 3595-3603. ISBN 90-5410-503-8.
- (2) M. LOUIS CERECEDA, J. ALONSO PASCUAL, V. MARTINEZ PASTOR, J.S. ALCAIDE ROMERO (1992). Caractéristiques minéralogiques, pétrophysiques et pétrochimiques du gres naturel de Bateig (Alicante) fréquemment utilisé dans l'architecture espagnole". pp. 1205-1211. 7th International congress on deterioration and conservation of stone. Ed: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC, 3 Vol. Lisboa. ISBN 972-49-1483-6.
- (3) LOUIS, M. "Historia, aplicaciones, comportamiento y formas de protección, de las areniscas y calizas utilizadas en la arquitectura alicantina. Ed: Universidad de Alicante". Alicante, febrero 1992, pp. 590. I.S.B.N. 84-7908-048-5.
- (4) I. FACAOARU AND C. LUGNANI (1993). Contributions to the diagnosis of stone and concrete historical structures using non-destructive techniques London ; New York ;: E & FN Spon, Vol. 1, 14 p.
- (5) SOLÍS-CARCAÑO Y MORENO (2008) "*Evaluation of concrete made with crushed limestone aggregate based on ultrasonic pulse velocity*" Construction and Building Materials 22 (2008): 1225-1231).